**Калибровка и оптимальное управление для неточных предиктивных моделей**

***Чураков Егор Максимович***

*Аспирант*

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,*

*физический факультет, Москва, Россия*

*E–mail:* *churakovem@my.msu.ru*

Рассматривается задача управления физическими системами. В таких системах присутствуют различные параметры: которыми мы можем управлять напрямую, которыми мы можем управлять опосредовано через первые параметры и параметры, которые выступают в качестве внешних возмущений системы. Значение всех переменных поступают к нам в качестве измерений датчиков, датчики в свою очередь имеют погрешность измерений. Помимо возмущений и погрешностей присутствует другая фундаментальная проблема: мы всегда неточно знаем модель физической системы, это может быть связано с недостаточным количеством информации или с отсутствием априорной информации о виде модели.

Рассмотрим динамическую систему в смысле пространства состояний [1]:

$$\vec{x}\_{t+1}=A\vec{x}\_{t}+B\vec{u}\_{t}$$

$$\vec{\hat{x}}\_{t+1}=\vec{x}\_{t+1}+\vec{ω}\_{t}$$

где $\vec{x}\_{t}$– вектор состояния системы; $\vec{\hat{x}}\_{t}$– вектор измерений состояния системы$; \vec{u}\_{t}$ – вектор управляющих воздействий на систему$; \vec{ω}\_{t}$ – случайный вектор погрешности измерений,$ \vec{ω}\_{t}\in N(\vec{μ }, Σ)$ в момент времени $t$; $A, B$– параметры системы, представленные матрицами.

Нередко параметры системы известны неточно или неизвестны вовсе, поэтому важной частью данного исследования является рассмотрение возможности уточнения модели системы в реальном времени. Такое уточнение основывается на накоплении специального вида информации непосредственно в процессе функционирования системы, подобно рассмотренному в [2].

Таким образом, перед нами стоит задача управления вышеописанной системой. Под задачей управления будем подразумевать задачу оптимизации следующего вида:

$$ \min\_{u\in U}J(\vec{x},\vec{u}, \vec{r})$$

$$J(\vec{x}, \vec{u}, \vec{r})=\left[\sum\_{i=1}^{N\_{упр.}} \left‖\vec{x}\_{i}-\vec{r}\_{i}\right‖\_{R}^{2}+ \left‖Δ\vec{u}\_{i}\right‖\_{K}^{2} \right]+ \left‖\vec{x}\_{0}-\vec{r}\_{0}\right‖\_{R}^{2}+ \left‖Δ\vec{u\_{0}}\right‖\_{K}^{2}$$

при ограничениях:

$$\left\{\begin{array}{c}\vec{u}\_{k}\in U,∀k\in K\\\vec{x}\_{i}\in X , ∀i\in I\end{array}\right.$$

где $\left‖\vec{x}\_{i}\right‖\_{R}^{2}=\vec{x}\_{i}^{T} R \vec{x}\_{i}^{},$$\vec{r}-$ желаемое состояние системы, нашей основной целью является привести систему к требуемому состоянию.

Для демонстрации работы мы будем рассматривать достаточно простую физическую модель одномерного движения объекта:

$$\left\{\begin{array}{c}F\_{вязк.}=-μ\dot{x}\\m\ddot{x}= F\_{вязк.}+F\_{упр.}\end{array}\right.$$

где

$F\_{вязк.}$ – сила вязкости, пропорциональная скорости движения;

$F\_{упр.}$ – сила управления объектов – это внешняя сила, которую мы контролируем;

$x$ – координата положения центра масс объекта;

$m,μ$ *–* масса объекта и коэффициент вязкости среды, соответственно.

На рисунках 1 и 2 показано поведение системы до и после уточнения модели.



Рисунок 1 Пример численного моделирование управляемой системы до уточнения модели



Рисунок 2 Пример численного моделирование управляемой системы после уточнения модели

Если сравнить *рисунок 1* и *рисунок 2*, можно заметить, что после уточнения модели качество управления заметно улучшилось. Такой вывод можно сделать по отсутствию колебаний положения объекта и силы управления, а также по заметно меньшим значениям целевой функции.

**Литература**

1. Tatjewski Piotr Advanced control of industrial processes: structures and algorithms. /Tatjewski Piotr: Springer-Verlag London Limited 2007, 2007 — 331 c https://doi.org/10.1007/978-1-84628-635-3
2. Golubtsov, P. (2023). Information Spaces and Efficient Information Accumulation in Calibration Problems. In: Hu, Z., Wang, Y., He, M. (eds) Advances in Intelligent Systems, Computer Science and Digital Economics IV. CSDEIS 2022. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 158. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24475-9\_5